

(11)特許出願公開番号

特開平5-209948

(43)公開日 平成5年(1993)8月20日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

厅内整理番号

FI

### 技術表示箇所

**G O I R 33/36**

**9118-2 J**

G O I N 24/ 04

N

審査請求 未請求 請求項の数1(全 7 頁)

(21)出願番号 特願平4-16161

(22)出願日 平成4年(1992)1月31日

(71)出題人 000004271

日本電子株式会社

東京都昭島市武蔵野3丁目1番2号

(72)發明者 小作富雄

東京都昭島市武蔵野3丁目1番2号日本電子株式会社内

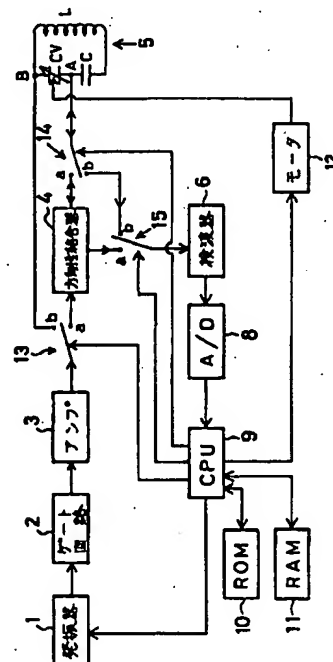
(74)代理人 弁理士 菲澤 弘 (外7名)

(54)【発明の名称】 NMR装置等におけるプローブの自動チューニング・システム

(57) 【要約】

【目的】 NMR装置及びNQR装置のチューナブルプローブにおいて、プローブに印加する高周波の高調波成分によって同調感度が低下しないようにする。

【構成】 観測周波数の高周波を方向性結合器4を経て同調可能なプローブ5の端子Aに入力し、その端子Aで反射された信号を方向性結合器4を経て別の方向に取り出し、その反射信号の大きさが最小になるようにプローブ5を同調する核磁気共鳴装置等のチューニング・システムにおいて、高周波が観測周波数の高調波を含む場合に、スイッチ13～15を端子bに切り換え、高周波を方向性結合器4をバイパスしてプローブ5の端子Bに入力し、その端子Bとは異なる別の端子Aからプローブ5通過信号を取り出し、その通過信号の大きさが最大になるようにプローブ5を同調する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 観測周波数の高周波を方向性結合器を経て同調可能なプローブの端子に入力し、その端子で反射された信号を方向性結合器を経て別の方向に取り出し、その反射信号の大きさが最小になるようにプローブを同調する核磁気共鳴装置又は核4重極共鳴装置のチューニング・システムにおいて、高周波が観測周波数の高調波を含む場合に、選択的に、高周波を方向性結合器をバイパスして同調可能なプローブの1端子に入力し、その端子とは異なる別の端子からプローブ通過信号を取り出し、かつ、その通過信号の大きさが最大になるようにプローブを同調するように構成したことを特徴とするNMR装置等におけるプローブの自動チューニング・システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、核磁気共鳴装置等のプローブ同調装置に関し、特に、プローブに印加する高周波の高調波成分によって同調感度が低下しないようにしたプローブの自動チューニング・システムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】核磁気共鳴装置（以下、NMR装置と言う。）で観測できる核の種類は数多くある。最近のNMR装置では、プローブの同調周波数を可変とし、1つのプローブで複数の核種を観測できるようにした所謂チューナブルプローブが実用化されている。このようなチューナブルプローブにおいては、観測核により共鳴周波数が異なるため、観測核を変更したい場合にその核周波数に一致するように必ずチューニング操作が必要となる。従来のNMR装置用プローブのチューニング・システム

の1例を図4に示す。

【0003】図4において、発振器1からの所定周波数の出力は、ゲート回路2を通して、広帯域パワーアンプ\*

$$P_r = P_{r1} \times 10^{(a/10)} + P_{r2} \quad \dots (1)$$

例えば、基本波周波数におけるプローブのリターンロス $a$ を $-20\text{ dB}$ とし、RFキャリアに高調波が含まれる\*

$$P_r = P_{r1} / 100 \quad \dots (2)$$

となる。

【0009】次に、高調波成分が基本波に対して $-15\text{ dB}$ ★

$$P_r = P_{r1} / 100 + P_{r2} / 31.6 \quad \dots (3)$$

となる。

【0010】(2)式の場合は、プローブのリターンロス $(-20\text{ dB})$ に対応した正しい反射電力が得られるが、(3)式の場合は、

$$10 \log \{ (P_{r1} / 100 + P_{r2} / 31.6) / P_{r1} \} = -13.8\text{ dB}$$

となる。したがって、(3)式に示す電力を検出電力としてプローブのチューニングを行っても、精度の良いチューニングを行うことはできない。

【0011】本発明はこのような状況に鑑みてなされた

\*3で適当なパワーまで増幅され、方向性結合器4を通してプローブ5に印加される。プローブ5で反射された電力を方向性結合器4を介して検出し、検波器6で検波してその信号の大きさを例えばメータ7により測定する。この信号が最小になるように、プローブ5のバリコンを調節してプローブ5の周波数のチューニングを行う。

【0004】ところで、プローブ5のチューニング精度を上げるためには、印加される高周波によってプローブが発熱することを避けなければならない。なぜなら、プローブの観測コイルが発熱すると、その同調周波数が発熱のない時の同調周波数と異なることになるからである。

【0005】そこで、方向性結合器4を経てダイオード検波器6で検波された信号が十分に広いダイナミックレンジを持ち、かつ、プローブ5内部の発熱を抑えるために、図5に示すような10W程度の大きさを持つRFパルス変調波が使用される。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図5に示すようなRFパルス変調波の周波数スペクトラムは、キャリア周波数を中心にしてその両サイドにパルス波が持つすべての周波数成分が表れ、キャリア周波数の高調波成分のパワーは大きいものである。この高調波成分は、プローブのチューニングにとって極めて有害となる。

【0007】プローブに印加されるRFキャリアの電力 $P_r$ は、基本波の進行波電力 $P_{r1}$ と高調波の進行波電力 $P_{r2}$ に分けられる。プローブで反射される電力 $P_r$ も、基本波の反射電力 $P_{r1}$ と高調波の反射電力 $P_{r2}$ に分けられる。プローブで反射される電力 $P_r$ は、高調波の進行波電力 $P_{r2}$ がプローブで全て反射されるものとする、以下の式で表される。

## 【0008】

※い場合、(1)式は、

$$\dots (2)$$

★dBの値で含まれている場合、(1)式は、

$$\dots (3)$$

ものであり、その目的は、核磁気共鳴装置及び核4重極共鳴装置（以下、NQR装置と言う。）のチューナブルプローブにおいて、プローブに印加する高周波の高調波成分によって同調感度が低下しないようにしたプローブの自動チューニング・システムを提供することである。

## 【0012】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明のNMR装置等におけるプローブの自動チューニング・システムは、観測周波数の高周波を方向性結合器を経て同調可能なプローブの端子に入力し、その端子で反射

された信号を方向性結合器を経て別の方向に取り出し、その反射信号の大きさが最小になるようにブローブを同調する核磁気共鳴装置又は核4重極共鳴装置のチューニング・システムにおいて、高周波が観測周波数の高調波を含む場合に、選択的に、高周波を方向性結合器をバイパスして同調可能なブローブの1端子に入力し、その端子とは異なる別の端子からブローブ通過信号を取り出し、かつ、その通過信号の大きさが最大になるようにブローブを同調するように構成したことを特徴とするものである。

【0013】

【作用】本発明においては、高周波が観測周波数の高調波を含む場合に、選択的に、高周波を方向性結合器をバイパスして同調可能なブローブの1端子に入力し、その端子とは異なる別の端子からブローブ通過信号を取り出し、かつ、その通過信号の大きさが最大になるようにブローブを同調するように構成したので、高周波が高調波を含まない場合、従来と同様に、反射信号の大きさが最小になるように高精度でブローブを同調することができ、また、高周波が高調波を含むとき、選択的に通過信号を検出し、その大きさが最大になるように高精度でブローブを同調して、高調波が反射されて精度の良い同調が阻害されるのを防止し、何れの観測周波数においてもその周波数に適した方式で高精度に自動的にチューニングすることができる。

【0014】

【実施例】以下、本発明のブローブの自動チューニング・システムの1実施例をNMR装置用ブローブを例にとって説明する。図1はNMR装置用チューナブルブローブ5の自動チューニング・システムのシステム構成図であり、図中、1は可変周波数発振器、2は発振器1からの観測周波数を図5に示したようにパルス変調波に変調するゲート回路、3は周波数帯域が $f_1$ から $f_2$ の増幅器、13は第1のスイッチ、4は方向性結合器、14は第2のスイッチ、5はブローブコイルLとコンデンサーCと可変コンデンサーCVとからなるチューナブルブローブで、図示のものは等価回路を例示的に示したものである。15は第3のスイッチ、6は検波器、8はA/D変換器、9はCPU、10はROM、11はRAM、12は可変コンデンサーCV調節用のモータである。そして、発振器1の発振周波数、第1のスイッチ13、第2のスイッチ14、第3のスイッチ15の切り換え、モータ12の回転は、CPU9により制御されるようになっており、ROM10には、第1のスイッチ13、第2のスイッチ14、第3のスイッチ15の端子をaからbに切り換える観測周波数 $(f_2 - f_1) / 2$ が記憶されており、また、各スイッチ13~15が端子a又はbに接続されている時にブローブ5を同調させるプログラムが記憶されている。RAM11には、可変コンデンサーCVの値又はモータ12の回転角と対応させて検波器6を

介して得られた信号強度等が記憶される。

【0015】上記自動チューニング・システムの動作を説明する前に、その原理を説明すると、ブローブコイルL、コンデンサーC及び可変コンデンサーCVからなる共振回路を構成しているブローブ5は、例えば端子Aから高周波を入力する場合、その周波数がブローブ5の共鳴周波数に一致していれば、同じ端子Aからは反射出力がほぼないが、一致していなければ、同じ端子Aからは入力ほぼ全て反射される。したがって、入力周波数が単一のときには、ブローブ5の入力と同一の端子Aからの反射電力の大きさをみることにより、ブローブ5を高感度で同調できる。これに対して、入力周波数に基本周波数とその高調波が含まれているときには、基本波の周波数がブローブ5の共鳴周波数に一致していても、高調波の周波数は一致していないので、入力と同一の端子Aからは反射電力があり、上記で例示したように、高感度の同調は困難である。しかしながら、このように高調波成分が含まれている場合に、ブローブ5の別の端子Bから入力し、端子Aから出力をとるようにすると、基本波の周波数がブローブ5の共鳴周波数に一致している場合、基本波成分の電力は端子Bから出力され、高調波成分はこの共振回路を通過せず端子Bからはその電力は出力されない。一方、基本波の周波数が共鳴周波数に一致していない場合は、一般に高調波のそれも一致していないので、端子Bからはほとんど出力がない。したがって、このように高調波成分が含まれている場合にも、ブローブ5の入力端子Bと出力端子Aを別々にしてその通過電力の大きさをみることにより、ブローブ5を高感度で同調できる。

【0016】ところで、ゲート回路2により変調され、2倍以上の高調波成分を有する高周波は、増幅器3を通過して増幅されると、その周波数帯域との関係で高調波成分が実質的に取り除かれる場合がある。例えば、図2に示すように、増幅器3の周波数帯域が $f_1$ から $f_2$ である場合、入力する基本波の周波数が $(f_2 - f_1) / 2$ 以上の場合、高調波の周波数は $f_1$ を越えることになるので、増幅器3を通過することができずに取り除かれる。したがって、この場合には、ブローブ5の入力と同じ端子Aから反射電力を取り出し、その大きさが最小になるようにチューニングすればよい。これに対して、観測周波数が $(f_2 - f_1) / 2$ 以下の場合には、高調波の周波数は周波数帯域内にあり、増幅器3で増幅され、ブローブ5に同時に達するので、ブローブ5への入力は出力端子Aとは別の端子Bを通して行い、出力端子Aからの電力が最大になるようにチューニングするようにする。

【0017】以上が本発明の原理であり、図1の動作を説明すると、CPU9は可変周波数発振器1を制御して、その発振周波数を観測周波数 $f_{01}$ に設定する。一方、ROM10には増幅器3の周波数帯域に関係する $(f_2 - f_1) / 2$ が記憶されており、発振器1の発振

10

20

30

40

50

周波数  $f_{00}$  がこの周波数  $(f_1 - f_2)/2$  以上の場合には、CPU 9は、第1のスイッチ13、第2のスイッチ14、第3のスイッチ15を端子a側に切り換える。これに対して、発振器1の発振周波数  $f_{00}$  がこの周波数  $(f_1 - f_2)/2$  以下の場合には、スイッチ13、14、15を端子b側に切り換える。したがって、発振器1からの観測周波数  $f_{00}$  が  $(f_1 - f_2)/2$  以下であるとき、この高周波はゲート回路2により図5に示したようにパルス変調波に変調され、 $f_{00}$  とその高調波を含む高周波は増幅器3により増幅される。増幅された高周波には  $f_{00}$  の高調波も含まれ、第1のスイッチ13の端子bを介して方向性結合器4をバイパスしてプローブ5の端子Bに入力される。そして、プローブ5を通過した高周波は、その別の端子Aから第2のスイッチ14の端子b、第3のスイッチ15の端子bを介して、検波器6に入力して検波され、A/D変換器8でデジタル信号に変換されてCPU 9に入力する。CPU 9は、そのときのモータ12の回転角又は可変コンデンサ-CVの値と対応させて検波された電力の値をRAM 11に記録し、次に、モータ12を何れかの方向へ回転させて可変コンデンサ-CVの値を変化させ、同様にそのときのプローブ5通過電力を可変コンデンサ-CVの値と対応させて記憶する。このような操作を繰り返して、最も通過電力が大きい点を見出すことにより、その点を観測周波数  $f_{00}$  に対する同調点とする。

【0018】これに対して、発振器1からの観測周波数  $f_{00}$  が  $(f_1 - f_2)/2$  以上であるときは、ゲート回路2によりパルス変調波に変調され、 $f_{00}$  とその高調波を含む高周波は増幅器3に入力するが、高調波はその周波数帯域の上限  $f_1$  を越える周波数であるので、増幅された高周波は  $f_{00}$  のみである。この高周波は、スイッチ13の端子a、方向性結合器4、スイッチ14の端子aを介して、プローブ5の端子Aに入力され、その反射信号は同じ端子Aからスイッチ14の端子a、方向性結合器4、スイッチ14の端子aを経て検波器6に入力し、そこで検波され、A/D変換器8を経てCPU 9に入力する。CPU 9は、そのときのモータ12の回転角又は可変コンデンサ-CVの値と対応させて検波された電力の値をRAM 11に記録し、次に、モータ12を何れかの方向へ回転させて可変コンデンサ-CVの値を変化させ、同様にそのときのプローブ5通過電力を可変コンデンサ-CVの値と対応させて記憶する。このような操作を繰り返して、今度は最も反射電力が小さい点を見出すことにより、その点を観測周波数  $f_{00}$  に対する同調点とする。

【0019】このように、プローブ5に入力する観測周波数  $f_{00}$  がそれ以外に高調波を含むとき、方向性結合器4をバイパスしてプローブ5の端子Bから高周波を入力させ、別の端子Aから通過電力を検出し、その大きさが最大になるようにプローブ5の可変コンデンサ-CV

を自動的に調節可能にすると、高調波によりチューニング精度が低下するのが防止でき、高精度でチューニングできる。

【0020】なお、増幅器3に入力する高調波の中、観測周波数  $f_{00}$  の第3高調波が最も大きい場合には、図3に示すように、入力する基本波の周波数が  $(f_1 - f_2)/3$  以上の場合、高調波の周波数は  $f_1$  を越えることになるので、増幅器3を通ることができずに取り除かれる。したがって、この場合は、 $(f_1 - f_2)/3$  を境にして、観測周波数  $f_{00}$  がそれ以上の場合に、端子a、Aを介してプローブ5の反射電力の大きさが最小になるようにチューニングし、 $(f_1 - f_2)/3$  以下の場合に、端子b、Bを介してプローブ5の通過電力の大きさが最大になるようにチューニングするようにする。

【0021】以上、NMR装置のチューナブルプローブを例にとり、その自動チューニング・システムについて説明してきたが、NQR装置の同調可能プローブについても同様に構成することができる。なお、本発明は上記実施例に限定されず種々の変形が可能である。例えば、スイッチ13～15として、ダイオードスイッチ等を用いるようにしてもよい。

【0022】

【発明の効果】本発明のNMR装置等におけるプローブの自動チューニング・システムによると、高周波が観測周波数の高調波を含む場合に、選択的に、高周波を方向性結合器をバイパスして同調可能なプローブの1端子に入力し、その端子とは異なる別の端子からプローブ通過信号を取り出し、かつ、その通過信号の大きさが最大になるようにプローブを同調するように構成したので、高周波が高調波を含まない場合、従来と同様に、反射信号の大きさが最小になるように高精度でプローブを同調することができ、また、高周波が高調波を含むとき、選択的に通過信号を検出し、その大きさが最大になるように高精度でプローブを同調して、高調波が反射されて精度の良い同調が阻害されるのを防止し、何れの観測周波数においてもその周波数に適した方式で高精度に自動的にチューニングすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のNMR装置用チューナブルプローブの自動チューニング・システムの1実施例のシステム構成図である。

【図2】プローブ入力高周波が2倍高調波を含む場合の接続端子を説明するための図である。

【図3】プローブ入力高周波が3倍高調波を含む場合の接続端子を説明するための図である。

【図4】従来のNMR装置用プローブのチューニング・システムの1例のシステム構成図である。

【図5】RFパルス変調波の1例の波形図である。

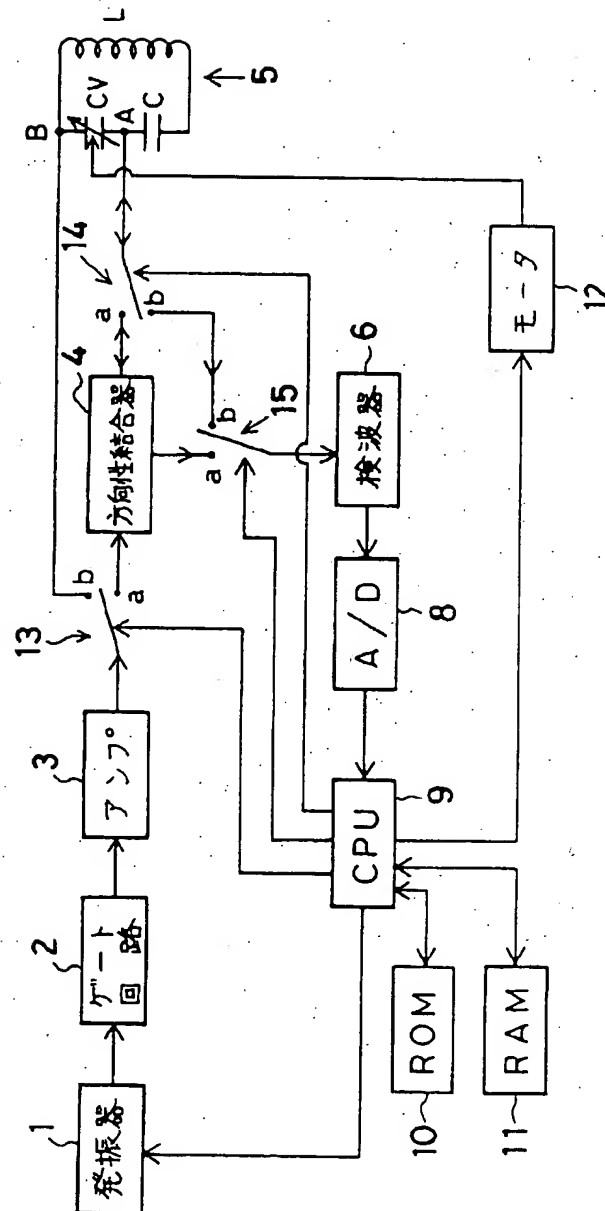
【符号の説明】

1…可変周波数発振器

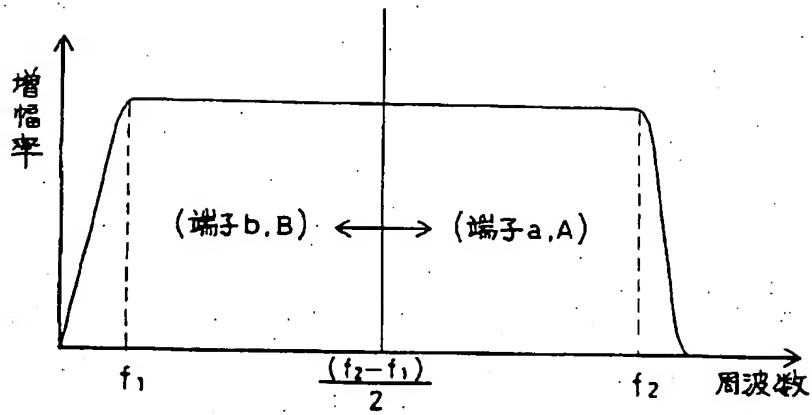
2…ゲート回路  
3…増幅器  
4…方向性結合器  
5…チューナブルプローブ  
6…検波器  
8…A/D変換器  
9…CPU  
10…ROM

\* 11…RAM  
12…モータ  
13…第1のスイッチ  
14…第2のスイッチ  
15…第3のスイッチ  
L…プローブコイル  
C…コンデンサ  
\* CV…可変コンデンサ

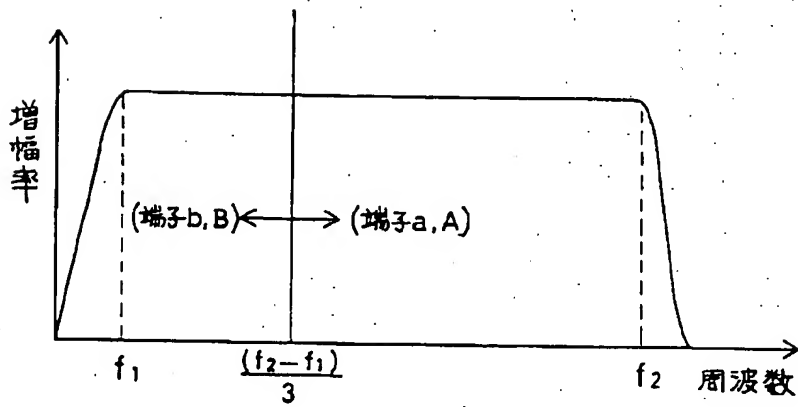
【図1】



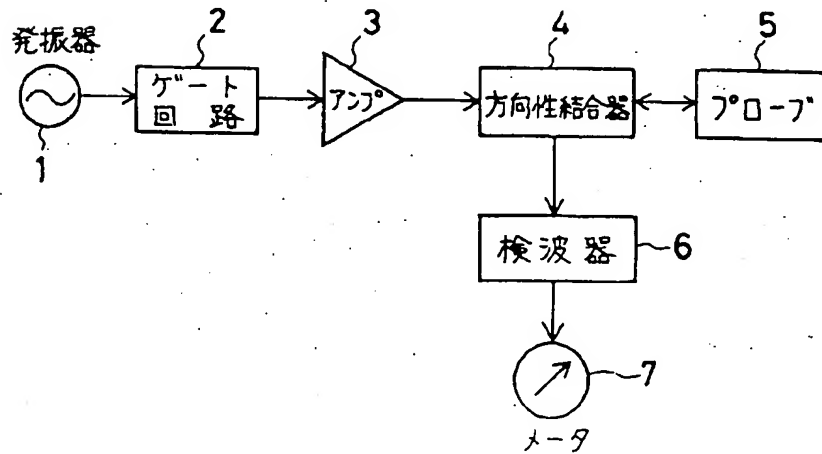
〔図2〕



〔図3〕



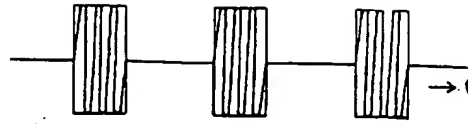
〔図4〕



(7)

特開平5-209948

【図5】



Title: Automatic Tuning system for probe in NMR device etc.

## CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] An automatic tuning system of a probe in a nuclear magnetic resonance (NMR) or nuclear quadrupole resonance (NQR) devices, wherein said tuning system inputs RF signal at the frequency of interest into a terminal of a tuneable probe via a directional coupler, and takes out the signal reflected at the terminal toward the opposite direction via the directional coupler, and tunes the probe so that the intensity of the reflected signal becomes the minimum, said automatic tuning system constituting the tuning mechanism of the probe so that, when the RF signal contains the harmonics of the observation frequency, the system inputs the RF signal into one terminal of the tuneable probe by bypassing the directional coupler, takes out the signal from another terminal, and tunes the probe so that the intensity of the passed signal becomes the maximum.

## DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the apparatus for tuning the probe in NMR or NQR devices, and more particularly to the automatic tuning system of a probe for the purpose of preventing the tuning sensitivity from being lowered by the harmonics of the RF signal inputted into the probe.

[0002]

[Description of the Prior Art] There are many kinds of nuclei which can be observed with nuclear-magnetic-resonance equipment (henceforth NMR equipment). In the latest NMR equipment, the observation of two or more nuclear species with only one probe is realised by making the tuning frequency variable. In such a tuneable probe, when changing the nuclei of observation one after another, it is essential to tune the probe into the frequency specific to the nucleus of interest, because each nucleus possesses characteristic resonance frequency. One example of the tuning system of a conventional probe for NMR equipment is shown in drawing 4.

[0003] In drawing 4, the output of the predetermined frequency from RF generator 1 passes through a gate circuit 2, and is amplified to suitable power by the wide band power amplifier 3, and then is applied to a probe 5 through a directional coupler 4. The power reflected at the probe 5 is detected through the directional coupler 4, and the wave signal is measured by a wave detector. The amplitude of the signal is measured by a meter 7. The variable condenser of the probe 5 is adjusted and frequency of the probe 5 is tuned up so that the intensity of the signal becomes the minimum.

[0004] In order to increase the tuning precision of the probe 5, it should be avoided to heat the probe by the heat generated by the applied RF wave, because the heat generated may change the tuning frequencies.



[0005] Hence, in order for the signal detected by the diode detector 6 through the directional coupler 4 to have a sufficiently wide dynamic range and also to suppress heat generation inside the probe 5, RF pulse modulation wave of about 10W is used, as shown in drawing 5.

[Problem(s) to be Solved by the Invention]

[0006]

However, in the frequency spectrum of an RF pulse modification wave such as the one shown in drawing 5, all the frequency components in the pulse wave appear on both sides of the carrier frequency. Further, the power of the harmonics of the carrier frequency is generally large. Therefore, the harmonics become very detrimental for tuning of the probe.

[0007] The power of the RF carrier,  $P_f$ , which is inputted to the probe, is divided into the progressive wave power of a fundamental wave,  $P_{f1}$ , and the progressive wave power of harmonics,  $P_{f2}$ . The power reflected at the probe,  $P_r$ , is divided into the reflected power of a fundamental wave,  $P_{r1}$ , and the reflected power of harmonics,  $P_{r2}$ . The power reflected at the probe,  $P_r$ , is expressed by the following equation when the progressive wave power of a harmonic,  $P_{f2}$  is totally reflected at the probe.

[0008]

$$P_r = P_{f1} \times 10^{(a/10)} + P_{f2} \dots (1)$$

For example, when the return loss of the probe in fundamental-wave frequency is -20 dB and the harmonics are not contained in the RF carrier, then Equation (1) becomes  $P_r = P_f / 100 \dots (2)$

[0009] Next, when the harmonics are contained in the fundamental wave to the level of -15dB, then Equation (1) becomes

$$P_r = P_{f1}/100 + P_{f2}/31.6 \dots (3)$$

[0010] In Equation (2), a correct value can be obtained for the power of reflected RF wave with a -20dB of return loss. In equation (3) it is

$$10 \log \{ (P_{f1}/100 + P_{f2}/31.6) / P_f \} = -13.8 \text{ dB}.$$

Therefore, when the detected power is calculated using Equation (3), accurate tuning cannot be performed.

[0011] This invention has been made in view of such a situation, and the purpose of the invention is to provide an automatic tuning system of the tuneable probe of NMR and NQR equipment, which tuning system is made to prevent the tuning sensitivity from being lowered by the harmonics of the RF signal inputted into the probe.

[0012]

[Means for Solving the Problem]

In this invention, in order to achieve the aforementioned purposes, an automatic tuning system of the probe in the NMR and NQR equipment, which system inputs RF signal at the frequency of interest into the terminal of a tuneable probe via a directional coupler, and takes out the signal reflected at the terminal toward the opposite direction via the directional coupler, and tunes the probe so that the intensity of the reflected signal becomes the minimum, has a feature where the automatic tuning system constitutes the tuning mechanism of the probe so that, when the RF signal contains the harmonics of the observation frequency, the system inputs the RF

signal into one terminal of the tuneable probe by bypassing the directional coupler, takes out the signal from another terminal of the tuneable probe, and tunes the probe so as to maximise the intensity of the passed signal.

[0013]

[Function]

In this invention, the automatic tuning system constitutes the tuning mechanism of the probe so that, when the RF signal includes the harmonics of the observation frequency, the system inputs the RF signal into one terminal of the tuneable probe by bypassing the directional coupler, takes out the signal from another terminal, and tunes the probe to maximize the intensity of transmitted signal. Owing to this feature, when the RF signal does not contain the harmonics, the system enables high precision tuning of the probe to minimize the intensity of reflected signal, as in a conventional manner. When the RF signal contains the harmonics, the system still enables automatic high precision tuning for any given frequencies of interest, by suppressing the reflection of the harmonics through selectively detecting the passed signal and tuning the probe into the conditions where the signal intensity becomes the maximum.

## EXAMPLES

[0014]

[Examples] Hereafter, one example of the automatic tuning system of the probe of this invention is explained taking an example of the probe for NMR devices. Drawing 1 is the system configuration view of the automatic tuning system of the tuneable probe 5 for NMR devices. The system comprises a variable frequency oscillator 1, a gate circuit 2, which modulates the observed frequency from the variable frequency oscillator into a pulse modulation wave, an amplifier 3, which frequency band is from  $f_1$  to  $f_2$ , the first switch 13, a directional coupler 4, the second switch 14, a tuneable probe 5, which consists of a probe coil L, a condenser C, a variable capacitor CV (shown schematically), the third switch 15, a signal detector 6, an A/D converter 8, a CPU 9, a ROM 10, a RAM 11, and a motor for the variable capacitor CV 12.

The CPU 9 controls frequency of the variable frequency oscillator 1, the first switch 13, the second switch 14, the third switch 15, and the motor 12.

The ROM 10 stores the observation frequency  $(f_2 - f_1)/2$  which is used to switch the terminals from A to B at the first, second and the third switches. The ROM 10 also stores the program which tunes the probe 5 when the three switches are connected to terminal a or b.

The RAM 11 stores the intensity of the signal obtained via the detector 6 along with the corresponding values of the capacity of the variable capacitor CV or the rotation angle of the motor 12.

[0015] Before explaining the detailed operation of the automatic tuning system, the operation principle is first explained as follows.

Say an RF signal is inputted into terminal A. If the frequency of the RF signal is in agreement with the resonance frequency of the probe 5 which constitutes the resonance circuit with a probe coil L, a capacitor C and a variable capacitor CV, there will be almost no reflected output from the same terminal A. If not in agreement, the input from the same terminal A will be mostly reflected. Therefore, when input frequency is single, the probe 5 can be tuned with high sensitivity by observing the

intensity of the reflected power taken out from terminal A which is the same terminal as for the signal input of the probe 5.

On the other hand, when the input frequency contains fundamental frequency and its harmonics, the power is reflected out from terminal A, because the frequencies of the harmonics are not in agreement with the resonance frequency of the probe 5 even if the frequency of the fundamental wave is in agreement, and hence, as illustrated above, tuning with high sensitivity is difficult to achieve.

Let's look at the case where the RF signal is inputted from another terminal B of the probe 5 and signal-output is taken out from terminal A, assuming the input frequency contains the harmonics. In this case, when the frequency of the fundamental wave is in agreement with the resonance frequency of the probe 5, the power of the fundamental-wave component is outputted from terminal B, but the harmonics do not pass this resonance circuit and the power is not outputted from terminal B.

On the other hand, when the frequency of the fundamental wave is not in agreement with the resonance frequency of the probe 5, generally, the harmonics are also not in agreement with the resonance frequency of the probe 5, and thus there would be almost no output from terminal B.

Therefore, when the input frequency contains the harmonics, the probe 5 can be tuned with high sensitivity by separating the input terminal B from output terminal A of the probe 5 and then observing the intensity of passed power.

[0016] If the RF signal, which is modulated by the gate circuit 2 and has higher than second harmonic components, is amplified through amplifier 3, then the harmonics may be substantially removed due to the relation between the frequency band of the amplifier and the frequencies of the harmonics.

For example, in case the frequency band of amplifier 3 is from  $f_1$  to  $f_2$  as shown in drawing 2, if the input fundamental wave has a frequency higher than  $(f_2 - f_1)/2$ , then the harmonics can not pass through the amplifier 3 because the harmonics have frequencies higher than  $f_2$ . Therefore, what is necessary is to take out reflected power from terminal A, the same terminal as input terminal of the probe 5, and just to tune up so that the signal intensity at the output terminal A becomes the minimum.

On the other hand, if the input fundamental wave has a frequency lower than  $(f_2 - f_1)/2$ , then the frequencies of the harmonics are within the frequency band of the amplifier, and hence the harmonics are amplified with the amplifier 3 and are passed to the probe 5. Therefore, what is necessary is to input the signal into the probe 3 through terminal B, the different terminal from output terminal A, and just to tune up so that the signal intensity at the output terminal A becomes the minimum.

[0017] The description made above is the principle of this invention. Next, the mechanism of the automatic tuning system shown in Drawing 1 is explained below.

CPU 9 controls variable frequency oscillator 1, and set the observation frequency  $f_{OBS}$  into the frequency of the generated RF wave. ROM 10 stores the values of  $(f_2 - f_1)/2$  which is related to the frequency band of the amplifier 3.

When the frequency of the generated RF wave  $f_{OBS}$  is higher than the frequency  $(f_2 - f_1)/2$ , then CPU 9 switches the terminals of the first, second and third switches to A position. On the other hand, when the frequency of the generated RF wave  $f_{OBS}$  is

lower than the frequency  $(f_2 - f_1)/2$ , then CPU 9 switches the terminals of the first, second and third switches to B position.

Therefore, when  $f_{obs}$  is lower than  $(f_2 - f_1)/2$ , the RF wave is modulated into a pulse modulation wave at the gate circuit 2 shown in Drawing 5, and  $f_{obs}$  and its harmonics are amplified by the amplifier 3. The amplified wave contains the harmonics of  $f_{obs}$ , and is passed into the terminal B of the probe 5 through the terminal b of the switch 13, bypassing the directional coupler 4. Once the RF wave passes through the probe 5, it goes out from the other terminal A of the probe into the terminal b of the second switch 14 and the terminal b of the third switch 15, further goes into the detector 6 and is detected, and then is converted into a digital signal by the A/D converter 8, and finally reaches CPU 9. CPU 9 records the value of the power thus detected into RAM 11 along with the rotation angle of the Motor 12 or the capacitance of the variable capacitor CV. CPU 9 then rotates the motor 12 to change the capacitor of CV, and again records the value of the power thus detected into RAM 11 along with the rotation angle of the Motor 12 or the capacitance of the variable capacitor CV. By repeating this operation, the frequency which gives the maximum output power can be found, and the frequency is determined as the tuning point for the observation frequency  $f_{obs}$ .

[0018] On the other hand, when the frequency of the generated RF wave  $f_{obs}$  is higher than the frequency  $(f_2 - f_1)/2$ , then the RF wave is modulated into a pulse modulation wave at the gate circuit 2, and  $f_{obs}$  and its harmonics are amplified by the amplifier 3. However, since the harmonics have higher frequencies than the upper limit frequency  $f_2$  of the amplifier, only  $f_{obs}$  is amplified by the amplifier 3. The amplified wave without the harmonics is transferred into the terminal A of the probe 5 through the terminal a of the switch 13, the directional coupler 4 and the terminal a of the third switch 14. The reflected signal goes out from the same terminal A of the probe through the terminal a of the switch 14, the directional coupler 4 and the terminal a of the third switch 15, and further goes into the detector 6 and is detected, and then is converted into a digital signal by the A/D converter 8, and finally reaches CPU 9. CPU 9 records the value of the power thus detected into RAM 11 along with the rotation angle of the Motor 12 or the capacitance of the variable capacitor CV. CPU 9 then rotates the motor 12 to change the capacitor of CV, and again records the value of the power thus detected into RAM 11 along with the rotation angle of the Motor 12 or the capacitance of the variable capacitor CV. By repeating this operation, the frequency which gives, this time, the minimum power can be found, and the frequency is determined as the tuning point for the observation frequency  $f_{obs}$ .

[0019] In this way, when the observation frequency  $f_{obs}$  inputted into the probe 5 contains harmonics, it is possible to achieve high precision tuning and to prevent the fall of tuning sensitivity caused by the harmonics, by inputting RF signal from the terminal B of the probe 5 and by-passing the directional coupler 4, and enabling the automatic adjustment of the variable capacitor CV so that the reflected power taken out from the other terminal A of the probe 5 becomes the maximum.

[0020] As shown in Drawing 3, when the 3rd harmonic of the observation frequency  $f_{obs}$  is the strongest among the harmonics inputted in the amplifier 3, if the frequency of the input fundamental wave is higher than  $(f_2 - f_1)/3$ , then the frequency of the harmonic is higher than  $f_2$  and thus the harmonic is filtered out by the amplifier 3.

Therefore, in this case, the tuning needs to be made so that the reflected power through the terminals a & A becomes the minimum when  $f_{OBS} > (f_2 - f_1)/3$ , and the reflected power through the terminals b & B becomes the maximum when  $f_{OBS} < (f_2 - f_1)/3$ .

[0021] Thus, the mechanism of the automatic tuning system has been explained by using a tuneable probe in NMR equipment as an example. The same system can also be made for a tuneable probe in NQR equipment. It should be apparent that the system described above may be implemented with various modifications and should not be limited within the said examples. For instance, switches 13, 14 and 15 can be replaced with diode switches.

[0022]

[Effect of the Invention] According to the automatic tuning system of the probe in the NMR equipment of this invention, the automatic tuning system constitutes the tuning mechanism of the probe so that, when the RF signal includes the harmonics of the observation frequency, the system inputs the RF signal into one terminal of the tuneable probe by bypassing the directional coupler, takes out the signal from another terminal, and tune the probe to maximize the intensity of passed signal. Owing to this feature, when the RF signal does not contain the harmonics, the system enables high precision tuning of the probe so that the intensity of reflected signal becomes the minimum, as in a conventional manner. When the RF signal contains the harmonics, the system still enables automatic high precision tuning for any given frequencies of interest, by suppressing the reflection of the harmonics through selectively detecting the transmitted signal and tuning the probe into the conditions where the signal intensity becomes the maximum.

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is an example of the system configuration of an automatic tuning system of the tuneable probe for NMR equipments of this invention.

[Drawing 2] It is a drawing for explaining a terminal output when probe-input RF signal contains its second harmonic.

[Drawing 3] It is a drawing for explaining a terminal output when probe-input RF signal contains its third harmonic

[Drawing 4] It is an example of the system configuration of a conventional tuning system of the probe for NMR equipments.

[Drawing 5] It is an example of the wave pattern of RF pulse modulation wave.

[Description of Notations]

- 1 -- Variable frequency oscillator
- 2 -- Gate circuit
- 3 -- Amplifier
- 4 -- Directional coupler
- 5 -- Tuneable probe
- 6 -- Wave detector
- 8 -- A/D converter
- 9 -- CPU
- 10 -- ROM

11 -- RAM  
12 -- Motor  
13 -- The 1st switch  
14 -- The 2nd switch  
15 -- The 3rd switch  
L -- Probe coil  
C -- Capacitor.  
CV-- Variable ceramic capacitor